

# 科学游戏研究评述

徐竟然 张增一\*

(中国科学院大学人文学院, 北京 100049)

**[摘要]** 科学游戏作为科学与游戏的结合, 既是科学传播的新方向, 也是游戏新领域的新热点。通过系统梳理国内外科学游戏研究文献, 对其主要研究内容分主题归类, 从科学游戏的理论、设计及其功能等方面对相关研究及进展进行分析和述评, 并在此基础上提出对未来研究的展望, 旨在为我国科学游戏研究与科学游戏发展提供可借鉴思路。

**[关键词]** 科学游戏 科学传播 游戏

**[中图分类号]** N4 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2021.01.006

作为科学内容与游戏形式的结合, 科学游戏同时为游戏设计与科学传播提供了新的增长点。一方面, 得益于计算机技术的发展, 电子游戏越发被人们熟悉; 另一方面, 源于大众教育需求, 对传统学习之外的教育模式的探索, 科学游戏开始受到学界关注, 随着研究深入, 科学游戏研究也呈现出更多的分支与偏向。

本文重点关注国内外学者关于科学游戏的研究, 从科学游戏的概念、设计、作用等方面进行评述, 力图呈现其研究概貌、热点和趋势。

## 1 国内外重要学术期刊科学游戏相关研究概况

在国内与国际研究文献方面, 本文分别以中国知网(CNKI)与Web of Science为搜索工具, 以“科普游戏”“科学游戏”与“TI=science game(排除news与patent)”为搜

索关键词(时间截至2020年1月1日), 经筛选去掉相关性不大的文献, 共获得中文文献50篇, 外文文献314篇。在这些文献中, 除国内学者较为关注科学游戏的概念辨析外, 主要研究热点可分为两方面: 一是科学游戏的设计, 包括科学游戏的表现形式、参与动机、社交元素以及竞争合作元素等; 二是科学游戏的功能或作用, 包括科学游戏知识学习、技能锻炼、观念形成、社会影响等。



图1 将国内学者相关研究标题进行词频分析所得词云图

收稿日期: 2020-01-09

\* 作者简介: 张增一, 中国科学院大学人文学院教授, 研究方向: 科学传播、科学与社会, E-mail: zhzy@ucas.ac.cn。



于学习还是在娱乐中附带学习的游戏，都必须激励玩家学习科学的兴趣<sup>[3]</sup>。

### 3.1.1 科学游戏表现形式研究

在游戏载体上，科学游戏的研究热点与网络信息技术潮流息息相关。目前的科学游戏主要以计算机或手机等设备为载体。学界的研究对象也经历了从线下游戏到线上游戏的转变。国际上自2010年，国内自2016年起，开始关注应用新技术的虚拟现实游戏与增强现实游戏。虚拟现实游戏可以提供互动叙事，以高情景化的虚拟现实使玩家在游戏中学习<sup>[4]</sup>。增强现实游戏则通过实时交互，将三维虚拟世界与现实世界融合<sup>[5]</sup>。此外，国内的研究重点还包括依托微信小程序端的科学游戏与设置于科技馆内部的展教型线下科学游戏。

在游戏玩法上，角色扮演类科学游戏是学者关注的重点。代入游戏角色，玩家不仅能够学习到科学知识技能，还能通过体验角色情感塑造个人科学观念，做出模拟决策与角色所处的环境互动。剧情设置、情节风格、角色选择与互动模式都是角色扮演类科学游戏的具体研究方向。

### 3.1.2 科学游戏参与动机研究

参与动机研究是近年来逐渐兴起的科学游戏研究热点，此类研究从玩家角度出发，关注玩家游戏心理，并据此作为科学游戏设计的参考。此主题研究分为两个阶段。

第一阶段的研究对象仅聚焦于公民科学游戏（一类利用玩家游戏行为为科学研究提供科学数据的游戏），学者们将公民科学游戏玩家参与动机划分为对科学贡献的愿望、自我学习与对游戏主题的兴趣、游戏社区归属感以及游戏的娱乐价值<sup>[6]</sup>；将玩家的持续游戏意图归纳为满意度、沉浸体验与感知有用影响<sup>[7]</sup>。得益于参与动机的研究，科学价值之

外的、玩家参与游戏的娱乐诉求得到了认定。虽然在相当长的时间跨度内，参与动机研究都围绕公民科学游戏展开，但自2018年起，参与动机研究进入第二阶段，学者开始探究公民科学游戏之外的科学游戏玩家的参与心理，如积极、消极情绪对玩家基于游戏的科学学习之间的影响，等等。

### 3.1.3 科学游戏的社交元素研究

科学游戏的社交元素研究主要分为两方面。第一，游戏中的社交元素对玩家的影响。有研究显示，记录游戏玩法和分享游戏视频的游戏社区与玩家基于游戏的学习存在丰富互动<sup>[8]</sup>。在游戏论坛、博客等其他形式社交媒体中的互动会激励玩家参与科学游戏<sup>[9]</sup>，社交的具体内容也影响着玩家的学习体验。有实验发现，在社交媒体上接受大学生导师辅导的中学生玩家，比自由使用社交媒体但未接受导师辅导的中学生玩家在科学问题的认知与表达上评分更高<sup>[10]</sup>。第二，研究也关注科学游戏出现后其对现实世界中社交关系的影响，最典型的是当传统教学转向游戏教学时，教师的角色与作用发生了转变<sup>[11]</sup>。计算机使用、探究式科学学习、同步聊天及游戏能力影响着教师参与科学游戏教学，水平更高的教师拥有更高的游戏教学效率<sup>[12]</sup>。但将科学游戏融入课堂还面临着设备、时间、规则、科学游戏知识等挑战<sup>[13]</sup>。为发挥教师在科学游戏教学中的作用，有研究者提出应为教师提供游戏教学进修机会<sup>[14]</sup>，测评科学教师的教学能力，根据教师教学薄弱项有针对性地开发游戏，以游戏的形式弥补传统教学的不足<sup>[15]</sup>。

### 3.1.4 科学游戏中的“竞争、合作”元素研究

在“竞争、合作”游戏元素的设计研究方面，研究者采用对比测试的定量研究法，分四个层次展开。

第一，同时兼备竞争与合作模式的团队—

游戏-比赛 (Teams-Games-Tournaments, TGT) 游戏。目前研究认为 TGT 游戏能显著改变游戏者的学习态度<sup>[16]</sup>。

第二, 对科学游戏竞争模式的研究。玛丽莲·奥尔特 (Marilyn Ault) 发现, 玩家在竞赛模式下可以更快速准确地完成任务<sup>[17]</sup>; 陈清辉 (Ching-Huei Chen) 则发现, 没有竞争的压力, 学生可以仔细阅读游戏说明并寻求额外的支持, 非竞赛状态的学生在成绩测试中优于竞争状态的学生<sup>[18]</sup>。更深入的研究是关注匿名竞赛和非匿名竞赛等不同竞争模式对科学游戏的影响, 将其与学习目标、绩效目标和感知能力等结合起来<sup>[19]</sup>, 或是将基于故事的游戏与基于分数竞赛的游戏玩家体验进行比较, 探讨如何能够吸引更多游戏参与者<sup>[20]</sup>。事实上, 因科学游戏种类不同, 很难得出在科学游戏中应用竞争模式究竟是否有益的普遍性结论。

第三, 对科学游戏合作模式的研究。通过交流信息, 合作游戏可以促进学生端正学习态度与动机, 提高学生的自我效能感<sup>[21]</sup>。陈清辉发现, 合作学习可以丰富游戏者的学习经验, 提高集体解决问题的能力<sup>[22]</sup>。不过也有研究发现, 学生喜欢独立工作, 或者只与水平相近的人一起学习, 因此如何在游戏化过程中促进玩家的协作成为新的设计重点<sup>[23]</sup>。

第四, 关注玩家在竞争、合作等游戏模式中的性别差异。性别议题是国际研究重点, 国内学者关注较少。游戏经验会影响学生在科学游戏中的表现, 由于男性通常拥有更多经验, 在游戏早期, 男性的游戏表现比女性同龄人好, 但在具备合作模式的游戏, 游戏者通过与他人合作会快速习得基于游戏的学习策略, 女性将很快赶上, 随着时间的推移, 性别差异可能在合作中消失<sup>[24]</sup>。奥佩耶米·德莱-阿贾伊 (Opeyemi Dele-Ajayi) 将

性别概念纳入科学游戏研究中, 着眼于女性对游戏的特殊性和偏好。该研究者发现挑战、兴趣、目标实现、社交因素、沉浸感和反馈是影响女性游戏参与度的因素, 认为把这些因素纳入教育者和游戏开发者的思考范畴将有助于吸引更多女性加入科学领域<sup>[25]</sup>。妮可·拉扎罗 (Nicole Lazzaro) 用不同类型的乐趣来描述游戏互动中的性别差异: 女性倾向在游戏中享受目标导向的乐趣、艰苦努力的乐趣和与人合作的乐趣, 而男性则倾向在游戏中享受轻松的乐趣和竞争的乐趣<sup>[26]</sup>。乔尔·爱普斯坦 (Joel Epstein) 制作了一款讲述酒精和药物如何影响大脑的上瘾学 (The Science of Addiction) 游戏“培根大脑” (Bacon Brains), 并招募玩家开展研究。研究表明, 女性在合作和竞争条件下都表现出知识的增长, 而男性只有在竞争条件下才表现出类似的增长。他进一步强调, 在合作和竞争的学习环境下, 要考虑性别差异的重要性<sup>[27]</sup>。

## 3.2 科学游戏作用研究

### 3.2.1 对科学游戏效果的讨论

科学游戏研究之初, 人们对其是否有科学学习作用也曾有过争论。对于一款只要将球弹射到接收器内就能过关的电子游戏 Enigmo, 一方认为游戏对玩家掌握牛顿第二定律等经典力学有建设性意义; 另一方则认为玩好游戏并不一定要掌握牛顿力学, 只要多次试错就能成功<sup>[28]</sup>。

较为公认的观点是, 并不能因此否定游戏的科学教育功能, 即使玩家在游戏中可能无法归纳出物理学规律, 但这些经验对学习物理知识有利。在教师的指引下, 游戏者可以将从游戏中获得的直观认识与从正式教育中得到的理论认识有效地结合起来<sup>[29]</sup>。

随着科学游戏开发目的越发明确、内容越加丰富, 科学游戏的作用越来越得到肯定,

除了引起玩家的科学兴趣外，学者们主要关注科学游戏的知识学习作用、技能锻炼作用、科学观念塑造作用以及科学与社会互动承担作用。对玩家游戏前后进行测试或访谈，是目前评价科学游戏作用的主要研究方法。强调知识获取的认知主义理论，强调个体主动知识建构的建构主义理论和强调个人与周围环境相互作用的社会文化视角是研究科学游戏应用的主要理论基础<sup>[30]</sup>。

### 3.2.2 科学游戏的知识学习作用

学者最普遍关注的是科学游戏在促进专业学习者的知识概念上的学习。将先进的游戏技术辅以强大的科学和艺术指导，游戏是针对特定的科学问题而设计的解决方案。科学游戏现已覆盖物理学、生物学、化学、数学、计算机、天文、地理学以及科学史教育等众多学科。

学者们所重点关注的科学游戏受众，不仅有学生，还有教师与障碍人群。科学游戏可用于加强教师的科学知识，提高教师科学教学和使用游戏进行教学的信心和热情<sup>[31]</sup>。在实际中，游戏还多被用于医疗健康领域，如激励老年人定期锻炼，帮助年轻人评估和改善健康状况，为玩家提供医学方面的继续教育<sup>[32]</sup>，或为卫生保健团队的培训提供帮助，在游戏情景中模拟演习复杂情况，以便更好地服务于改善患者的健康<sup>[33]</sup>。

### 3.2.3 科学游戏的技能锻炼作用

科学游戏可以通过创造一个玩家必须参与的创造性互动过程，锻炼玩家的科学技能，如科学游戏可用于进行实验室安全培训、教授仪器使用、模拟实验室技能<sup>[34]</sup>。

计算机科学游戏是学者们关注最多的领域。与其他学科游戏不同的是，玩家在计算机科学游戏中不仅能作为现有游戏内容的享受者，通过使用游戏学习编程，还能作为开

发者，利用编程技能设计游戏<sup>[35]</sup>。玩家开发计算机游戏的过程就是动态的学习过程，以计算机游戏为载体的教学比传统教学更能激励、刺激和吸引学生，提高学生的信心与兴趣<sup>[36]</sup>，尤其可以鼓励一般来说对计算机缺乏兴趣的女性学习者<sup>[37]</sup>，帮助非计算机专业学生克服对计算机的误解<sup>[38]</sup>。由于设计游戏通常要协同人机交互、计算机视觉、数据挖掘等不同知识和技能，学习者还能锻炼与程序员、设计师等的合作能力<sup>[39]</sup>。不过塞拉诺·拉古纳（Serrano Laguna）发现，若游戏没有明确提供语法规则，将不利于缺乏编程背景的玩家练习编程。因此要实现游戏的科学教育作用，需要明确构建知识体系，或配合教师讲授<sup>[40]</sup>。

此外，集成了声音、图像等多种表现方式的电子游戏能否为学习障碍者提供帮助也得到了学界的重点关注。有研究表明，视频游戏可以为玩家们提供学习进度实时监控<sup>[41]</sup>；音频游戏可以使视觉障碍儿童通过音频学习科学概念和科学推理，帮助盲人学习者融入学校课程，进行互动，融入社会<sup>[42]</sup>。虽然科学游戏不可避免地对不同层次玩家存在功效差异，相比高水平游戏者和普通人群，障碍人群表现不佳，对科学的认知度较低，但即使如此，有障碍的学生也能取得显著的学习进步<sup>[43]</sup>，并且在参与游戏后表示“自己擅长科学”的人大幅增加，游戏正成为一种解决受众分层化和学习需求多样性的手段<sup>[44]</sup>。

### 3.2.4 科学游戏对科学观念的塑造作用

关于科学游戏对科学观念的塑造作用，研究主要关注两方面。第一，科学游戏对玩家深层次科学观念的影响，如从科学的实证主义转向相对主义，从演绎主义转为归纳主义，从去语境主义转为语境主义<sup>[45]</sup>。第二，科学游戏对玩家今后从事科学活动的自我效能感产生影响。最典型的是增进玩家对科学

职业的理解与亲近感，尤其对青少年理解科学精神大有裨益。

莱斯利·米勒 (Leslie M. Miller) 认为，在虚拟环境中赋予一个人新的身份，可以帮助玩家更好地了解其“科学角色”，通过体验确定其个人兴趣<sup>[46]</sup>。游戏帮助玩家培养科学的自我概念（如我是对科学感兴趣的人）或培养科学可能的自我（如我希望有一天成为科学家），将游戏角色与玩家可能的自我（指代期望成为什么人）联系起来，将激发青少年玩家对 STEM 职业生涯的思考，在角色扮演体验和科学职业动机之间建立积极的关系，从而激发玩家在现实世界中学习科学的动机，实现个体和社会的结合<sup>[47]</sup>。

### 3.2.5 科学游戏与科学社会互动作用

拉斯姆森 (F A. Rasmussen) 于 1969 年在一篇关于科学游戏的研究论文中就曾富有远见地提出：“公民需要的不仅是更多的科学知识，还有更好地理解科学的本质以及科学技术与社会的互动。”<sup>[48]</sup> 在现有研究中，学者们主要从两方面关注科学游戏与科学社会互动作用。

第一是以游戏内部的虚拟世界架构展现部分现实世界的科学与社会互动，使游戏成为让多方利益相关团体讨论复杂问题的平台。不同于以往单向的信息传递，科学游戏的交互式体验将允许玩家探索各种情景，在与他人的合作中更好地理解流程与决策，从不同角度看待问题。例如，游戏“模拟城市” (Sim City) 向玩家呈现了如化工厂、核电站等可以为人类生产生活带来高额经济回报的设施对环境污染的可能性。游戏“能源小镇” (Power Ville) 则要求玩家扮演顾问工程师，在给定的预算和能源下，探索最适合城市未来的能源形式。学者们探讨的是，在游戏所创造的公平讨论环境中，能否将玩家从虚拟

游戏中获得的拟真体验和做出的真诚选择作为讨论现实问题的基础<sup>[49]</sup>，专家与公民通过科学游戏这一桥梁可以探讨极端灾害、全球变暖、可持续的土地管理、节约能源等与当今科技、社会相关的公共议题。

第二是通过科学游戏助力科学研究。公众参与科学和科学的游戏化是当今科学领域的两大发展趋势<sup>[50]</sup>。科学游戏助力科学研究，一方面，体现为通过公民科学游戏为科学研究提供公众的群体性智慧以及规模化的科研数据，如科学家曾利用蛋白折叠游戏“折叠” (Foldit) 的玩家智慧破解一种困扰科学界多年的艾滋病逆转录酶结构，2020 年新型冠状病毒肆虐全球，“折叠”还更新了新型冠状病毒专题；另一方面，科学游戏使科学变得更容易、更有趣。例如，利用游戏显示技术帮助生物学家解决可视化难题<sup>[51]</sup>；将科研项目开发成电脑游戏，将游戏作为科研项目的展示手段；通过游戏的社交功能帮助广大科研人员玩家们在科学界建立专业的人际网络，增强其在学术领域的归属感，以提高行业的女性和少数族裔科研人员的从业保留率<sup>[52]</sup>。

## 4 总结与讨论

作为一种新的科学传播载体和教育手段，科学游戏近十几年来得到了广泛关注，但无论是设计或作用研究，都是对其“游戏”特性与“科学”功能的关注，试图寻找平衡，创造一种新的学习方式——“玩中学” (learn by playing)。另外，虽然中外学者的研究在本质上相通，但两者有着不同的研究偏好，国内研究多以定性分析为主，偏向宏观的理论研究，即使关注设计开发，也多为浅显的游戏描述；而国际研究则多以问卷、访谈或对比实验进行定量研究，深入游戏，探究某一具体设计元素对玩家游戏娱乐体验以及科学

学习的影响，并从中挖掘不同游戏类别的通用特征。中外学者的研究差异，不仅与实际的科学游戏发展相关，还是不同社会文化氛围的具象表现。例如国外学者格外关注游戏中的性别议题——女性玩家与少数族裔的游戏体验，与其性别文化息息相关。国外学者重点研究的公民科学游戏，则是一种相比于玩家获取，更强调玩家贡献的游戏，本质上这也体现了发达国家不同于单向的、自上而下的科普模式，而是基于公民立场与对话模型，有反馈参与更有反思的科学传播。可以说，与国内的研究相比，国外学者的研究之所以更细致入微，也有赖于其对科学游戏的认知和开放的社会氛围，而不是“玩物丧志”或谈游戏色变的社会成见。游戏这个虚拟的“世界”能承载的、值得分析的内容与观念远比预想的多得多。

从研究理论来看，现有研究大多基于心理学、教育学视角，将科学游戏作为一种教育工具或手段讨论其作用，而从传播学视角，将其作为一种科学传播媒介的研究不多。这

正是未来研究可发展之处，毕竟，只讨论游戏“功利性”的教育作用，本身就是对游戏的误解，正如荷兰学者赫伊津哈所言：“游戏首先是自愿的，其次是非功利性的。”<sup>[53]</sup>古今中外对“游戏”一词的理解都强调自愿参与并从中得到快乐，而非功能或作用。

关于未来的科学游戏研究，我们认为，第一，可以关注科学游戏的科学传播研究，如科学游戏如何叙事，如何互动，科学元素与游戏元素如何组合；第二，可以利用大数据手段，收集用户评论和游戏社区的讨论等反馈信息作为定量研究基础，或广泛调研现有科学游戏，为其划分类型，研究科学游戏具备怎样的科学传播功能，以及功能如何实现；第三，可以关注科学游戏不同于其他科学传播媒介的媒介偏向，以及基于媒介环境学研究其特有的媒介偏向如何反哺科学传播环境，从研究科学游戏过渡到用游戏化的思维启发科学传播，提出科学传播游戏化思路，从理论走向实践，促进科学游戏的发展与科学传播环境的塑造。

## 参考文献

- [1] 周荣庭, 方可人. 关于科普游戏的思考——探寻科学普及与电子游戏的融合 [J]. 科普研究, 2013, 8(6): 60-66.
- [2] 刘玉花, 费广正, 姜珂. 科普网游及其产业发展研究 [J]. 科普研究, 2011, 6(6): 34-38.
- [3] Foster A N. Games and Motivation to Learn Science: Personal Identity, Applicability, Relevance and Meaningfulness[J]. Journal of Interactive Learning Research, 2008, 19(4): 597-614.
- [4] Lin Y. The Influences of Contextualized Media on Students' Science Attitudes, Knowledge, and Argumentation Learning through Online Game-Based Activities[J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2018, 34(6): 884-898.
- [5] Azuma R. A Survey of Augmented Reality[J]. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 1997, 6(4): 355-385.
- [6] Tinati R, Luczakroesch M, Simperl E, et al. Because Science is Awesome: Studying Participation in a Citizen Science Game[C]//Wolfgang N, Wendy H. WebSci' 16: Proceedings of the 8th ACM Conference on Web Science. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 45-54.
- [7] 方可人. 公民科学游戏化应用的用户持续使用意图影响因素研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2018.
- [8] Atwoodblaine D, Huffman D. Mobile Gaming and Student Interactions in a Science Center: the Future of Gaming in Science Education[J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 2017, 15(1): 45-65.
- [9] Greenhill A, Holmes K, Woodcock J, et al. Playing with Science: Exploring How Game Activity Motivates Users Participation on an Online Citizen Science Platform[J]. Aslib Journal of Information Management, 2016, 68(3): 306-325.

- [10] Gould D L, Parekh P. Mentoring and Argumentation in a Game-Infused Science Curriculum[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2018, 27(2): 188-203.
- [11] Wilson C D, Reichsman F, Mutchjones K, et al. Teacher Implementation and the Impact of Game-Based Science Curriculum Materials[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2018, 27(4): 285-305.
- [12] Annetta L A, Frazier W M, Folta E, et al. Science Teacher Efficacy and Extrinsic Factors Toward Professional Development Using Video Games in a Design-Based Research Model: The Next Generation of STEM Learning[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2013, 22(1): 47-61.
- [13] An Y, Haynes L, Dalba A, et al. Using Educational Computer Games in the Classroom: Science Teachers' Experiences, Attitudes, Perceptions, Concerns, and Support Needs[J]. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 2016, 16(4): 415-433.
- [14] Webb A W, Bunch J C, Wallace M F G. Agriscience Teachers' Implementation of Digital Game-Based Learning in an Introductory Animal Science Course[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2015, 24(6): 888-897.
- [15] Bose K, Seetso G. Science and Mathematics Teaching through Local Games in Preschools of Botswana[J]. *South African Journal of Childhood Education*, 2016, 6(2): 1-9.
- [16] Salam A, Hossain A, Rahman S. Teams Games Tournaments (TGT). Cooperative Technique for Learning Mathematics in Secondary Schools in Bangladesh[J]. *REDIMAT-Journal of Research in Mathematics Education*, 2015, 4(3): 271-287.
- [17] Ault M, Craig-Hare J, Frey B. The Impact of a Racing Feature on Middle School Science Students' Performance in an Educational Game[J]. *International Journal of Game-Based Learning*, 2016, 6(3): 18-33.
- [18] Chen C H, Liu J H, Shou W C, et al. How Competition in a Game-Based Science Learning Environment Influences Students' Learning Achievement, Flow Experience, and Learning Behavioral Patterns[J]. *Educational Technology & Society*, 2018, 21(2): 164-176.
- [19] Chen C H, Law V, Chen W Y. The Effects of Peer Competition-Based Science Learning Game on Secondary Students' Performance, Achievement Goals, and Perceived Ability[J]. *Interactive Learning Environments*, 2017, 26(2): 1-10.
- [20] Prestopnik N R, Tang J. Points, Stories, Worlds, and Diegesis: Comparing Player Experiences in Two Citizen Science Games[J]. *Computers in Human Behavior*, 2015, 52: 492-506.
- [21] Sung H Y, Hwang G J. A Collaborative Game-Based Learning Approach to Improving Students' Learning Performance in Science Courses[J]. *Computers & Education*, 2013, 63: 43-51.
- [22] Chen C H, Wang K C, Lin Y H. The Comparison of Solitary and Collaborative Modes of Game-Based Learning on Students' Science Learning and Motivation[J]. *Journal of Educational Technology & Society*, 2015, 18(2): 237-248.
- [23] Sánchez-Martín Jesús, Canada-Canada F, Dávila-Acedo M. Antonia. Just a Game? Gamifying a General Science Class at University Collaborative and Competitive Work Implications[J]. *Thinking Skills and Creativity*, 2017, 26(5): 51-59.
- [24] Buffum P S, Frankosky M, Boyer K E, et al. Collaboration and Gender Equity in Game-Based Learning for Middle School Computer Science[J]. *Computing in Science & Engineering*, 2016, 18(2): 18-28.
- [25] Dele-Ajayi O, Strachan R, Pickard A, et al. Girls and Science Education: Exploring Female Interests Towards Learning with Serious Games a Study of KS3 Girls in the North East of England[C]//International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning. IEEE, 2015: 364-367.
- [26] Lazzaro N. Why We Play Games: Four Keys to More Emotion without Story[EB/OL]. (2004-03-08) [2019-12-01]. [http://www.xeodesign.com/whyweplaygames/xeodesign\\_whyweplaygames.pdf](http://www.xeodesign.com/whyweplaygames/xeodesign_whyweplaygames.pdf).
- [27] Epstein J, Noel J, Finnegan M, et al. Bacon Brains: Video Games for Teaching the Science of Addiction[J]. *Journal of Child & Adolescent Substance Abuse*, 2016, 25(6): 504-515.
- [28] Kaiser M K, Proffitt D R, Anderson K. Judgments of Natural and Anomalous Trajectories in the Presence and Absence of Motion[J]. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, 1985, 11(4): 795-803.
- [29] 冯翔. 国外科普游戏的发展概况与趋势 [C]// 中国科普研究所. 科技传播创新与科学文化发展——中国科普理论与实践探索——第十九届全国科普理论研讨会暨 2012 亚太地区科技传播国际论坛论文集. 北京: 科学普及出版社, 2012: 532-537.
- [30] Li M C, Tsai C C. Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2013, 22(6): 877-898.
- [31] Van Eck R, Guy M, Young T, et al. Project NEO: Assessing and Changing Preservice Teacher Science Knowledge with a Video Game[C]//2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE, 2014: 339-343.
- [32] Gleason A. RELM: Developing a Serious Game to Teach Evidence-Based Medicine in an Academic Health Sciences Setting[J]. *Medical Reference Services Quarterly*, 2015, 34(1): 17-28.
- [33] White E J, Lewis J H, McCoy L, et al. Gaming Science Innovations to Integrate Health Systems Science into Medical Education and Practice[J]. *Advances in Medical Education and Practice*, 2018, 9: 407-414.

- [34] Zafeiropoulos V, Kalles D, Sgourou A, et al. Adventure-Style Serious Game for a Science Lab[C]//European Conference on Technology Enhanced Learning. Cham: Springer, 2014: 538-541.
- [35] Denner J, Werner L, Ortiz E. Computer Games Created by Middle School Girls: Can They be Used to Measure Understanding of Computer Science Concepts?[J]. Computers & Education, 2012, 58(1): 240-249.
- [36] Sevin R, Decamp W. From Playing to Programming: The Effect of Video Game Play on Confidence with Computers and an Interest in Computer Science[J]. Sociological Research Online, 2016, 21(3): 1-10.
- [37] Carbonaro M, Szafron D, Cutumisu M, et al. Computer-game Construction: A Gender-neutral Attractor to Computing Science[J]. Computers and Education, 2010, 55(3): 1098-1111.
- [38] Couceiro R M, Papastergiou M, Kordaki M, et al. Design and Evaluation of a Computer Game for the Learning of Information and Communication Technologies ( ICT ) Concepts by Physical Education and Sport Science Students[J]. Education and Information Technologies, 2013, 18(3): 531-554.
- [39] Brandao A L, Fernandes L A F, Trevisan D, et al. Jecripe: How a Serious Game Project Encouraged Studies in Different Computer Science Areas[C]//IEEE International Conference on Serious Games & Applications for Health. IEEE, 2015: 1-8.
- [40] Serrano laguna A, Torrente J, Manero B, et al. A Game Engine to Learn Computer Science Languages[C]//Frontiers in Education Conference. IEEE, 2015: 1-8.
- [41] Marino M T, Beecher C C. Conceptualizing RTI in 21st-Century Secondary Science Classrooms: Video Games' Potential to Provide Tiered Support and Progress Monitoring for Students with Learning Disabilities[J]. Learning Disability Quarterly, 2010, 33(4): 299-311.
- [42] Jaime Sánchez, Miguel Elías. Science Learning in Blind Children through Audio-Based Games[M]//Miguel Redondo, Crescencio Bravo, Manuel Ortega. Engineering the User Interface. London: Springer, 2011: 1-18.
- [43] Israel M, Wang S, Marino M T, et al. A Multilevel Analysis of Diverse Learners Playing Life Science Video Games: Interactions between Game Content, Learning Disability Status, Reading Proficiency, and Gender[J]. Journal of Research in Science Teaching, 2016, 53(2): 324-345.
- [44] Marino M T, Israel M, Beecher C C, et al. Students' and Teachers' Perceptions of Using Video Games to Enhance Science Instruction[J]. Journal of Science Education and Technology, 2013, 22(5): 667-680.
- [45] Mansour N, Wegerif R, Skinner N, et al. Investigating and Promoting Trainee Science Teachers' Conceptual Change of the Nature of Science with Digital Dialogue Games "Interloc" [J]. Research in Science Education, 2016, 46(5): 667-684.
- [46] Miller L, Chang C, Wang S, et al. Learning and Motivational Impacts of a Multimedia Science Game[J]. Computers in Education, 2011, 57(1): 1425-1433.
- [47] Beier M E, Miller L M, Wang S. Science Games and the Development of Scientific Possible Selves[J]. Cultural Studies of Science Education, 2012, 7(4): 963-978.
- [48] Rasmussen F A. Science Teaching and Academic Gaming[J]. The American Biology Teacher, 1969, 31(9): 559-562.
- [49] Parker H R, Cornforth R J, Suarez P, et al. Using a Game to Engage Stakeholders in Extreme Event Attribution Science[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2016, 7(4): 353-365.
- [50] Radchuk O, Kerbe W, Schmidt M, et al. Homo Politicus Meets Homo Ludens: Public Participation in Serious Life Science Games[J]. Public Understanding of Science, 2017, 26(5): 531-546.
- [51] Lv Z, Tek A, Silva F D, et al. Game On, Science-How Video Game Technology May Help Biologists Tackle Visualization Challenges[J]. Plos One, 2013, 8(3): e57990.
- [52] Finkelstein S L, Powell E, Hicks A, et al. SNAG: Using Social Networking Games to Increase Student Retention in Computer Science[C]//Sigcse Conference on Innovation & Technology in Computer Science Education. DBLP, 2010: 142-146.
- [53] 约翰·赫伊津哈. 游戏的人: 文化中游戏成分的研究 [M]. 何道宽, 译. 广东: 花城出版社, 2017.

(编辑 袁 博)